Treball de Fi de Màster



**Màster en Neuroenginyeria i Rehabilitació**

**Generation of real-time control commands from EEG signals**

**MEMÒRIA**

**(MEMORIA en castellà, REPORT en anglès)**

**Author:** Ferran Franco i Moral

**Director:**  Joan Francesc Alonso López

**Co-director:** Andres El-Fakdi Sencianes

**Co-director:** Alicia Casals Gelpí

**Date:** February/June 2025





Escola Tècnica Superior

d’Enginyeria Industrial de Barcelona



# Resum

Les interfícies cervell-ordinador (BCI) han estat investigades durant dècades pel seu potencial per controlar dispositius a través del monitoratge de l'activitat cerebral. En particular, els sistemes BCI basats en *motor imagery* (MI) han demostrat una gran efectivitat en el camp de la neurorehabilitació, ja que els patrons cerebrals generats són similars als produïts durant els moviments reals. En aquest context, aquest treball proposa un protocol per a l’adquisició i anàlisi de dades BCI utilitzant el dispositiu Bitbrain Hero Helmet.

El projecte de final de màster forma part del projecte POSMOFYA, acrònim de la ***P****lataforma* ***H****íbrida* ***Ó****rtesis-****S****illa para hacer compatible la* ***Mo****vilidad,* ***F****uncionalidad y* ***A****ceptabilidad de aplicación en entornos domésticos*. Aquest projecte es centra en l’automatització d’una cadira de rodes, controlada mitjançant seguiment ocular (*eye tracking*), i en l’ús dels resultats obtinguts en aquest treball per permetre el control d’un braç robòtic integrat. Aquesta funcionalitat inclou la capacitat de canviar entre diferents modes de funcionament, com ara la conducció, la inclinació de la cadira o el moviment del braç robòtic.

Aquest projecte es divideix en diverses fases. La primera consisteix en el disseny d’un experiment que utilitza el programari PsychoPy i LabStreaming Layer (LSL) per dur a terme sessions d’adquisició de senyals MI de dues classes: la flexió del canell dret i la flexió del braç esquerre. S’han realitzat 10 sessions de 40 repeticions cadascuna per a cada hemisferi cerebral, amb l’objectiu d’extreure característiques de les senyals per entrenar un sistema de *Machine Learning* (ML). Aquest sistema ha de ser capaç de reconèixer, en temps real i amb una certesa suficient, les intencions de moviment per controlar la cadira de rodes del projecte POSMOFYA.

Part de resultats

# Resumen

Las interfaces cerebro-ordenador (BCI) han sido investigadas durante décadas por su potencial para controlar dispositivos mediante el monitoreo de la actividad cerebral. En particular, los sistemas BCI basados en *motor imagery* (MI) han demostrado ser altamente efectivos en el ámbito de la neurorrehabilitación, ya que los patrones cerebrales generados son similares a los producidos durante los movimientos reales. En este contexto, este trabajo propone un protocolo para la adquisición y el análisis de datos BCI utilizando el dispositivo Bitbrain Hero Helmet.

El proyecto de fin de máster forma parte del proyecto POSMOFYA, acrónimo de la ***P****lataforma* ***H****íbrida* ***Ó****rtesis-****S****illa para hacer compatible la* ***Mo****vilidad,* ***F****uncionalidad y* ***A****ceptabilidad de aplicación en entornos domésticos*. Este proyecto se centra en la automatización de una silla de ruedas, controlada mediante seguimiento ocular (*eye* *tracking*), y en el uso de los resultados obtenidos en este trabajo para permitir el control de un brazo robótico integrado. Esta funcionalidad incluye la capacidad de cambiar entre diferentes modos de funcionamiento, como la conducción, la inclinación de la silla o el movimiento del brazo robótico.

Este proyecto consta de varias fases. La primera consiste en el diseño de un experimento que emplea el software PsychoPy y LabStreaming Layer (LSL) para realizar sesiones de adquisición de señales MI de dos clases: la flexión de la muñeca derecha y la flexión del brazo izquierdo. Se han realizado 10 sesiones de 40 repeticiones cada una por cada hemisferio cerebral, con el objetivo de extraer características de las señales y entrenar un sistema de Machine Learning (ML). Este sistema debe ser capaz de reconocer, en tiempo real y con una precisión suficiente, las intenciones de movimiento para controlar la silla de ruedas del proyecto POSMOFYA.

# Abstract

Brain-computer interfaces (BCIs) have been studied for decades for their potential to control devices by monitoring brain activity. Specifically, MI-based BCI systems (*motor imagery*) have proven highly effective in the field of neurorehabilitation, as the brain patterns generated closely resemble those produced during actual movements. In this context, this work proposes a protocol for BCI data acquisition and analysis using the Bitbrain Hero Helmet device.

The master’s thesis is part of the POSMOFYA project, an acronym for the *Hybrid Platform of Orthosis-Wheelchair to ensure compatibility of Mobility, Functionality, and Acceptability for use in domestic environments*. This project focuses on automating a wheelchair controlled through eye tracking and applying the results obtained in this work to enable control of an integrated robotic arm. This functionality includes the ability to switch between different operating modes, such as driving, adjusting the wheelchair’s tilt, or moving the robotic arm.

This project consists of several phases. The first phase involves designing an experiment using PsychoPy software and LabStreaming Layer (LSL) to conduct sessions for acquiring MI signals of two classes: right wrist flexion and left arm flexion. A total of 10 sessions with 40 repetitions each were conducted for each brain hemisphere to extract signal features and train a *Machine Learning* (ML) system. This system must be able to recognize movement intentions in real time with sufficient accuracy to control the POSMOFYA project’s wheelchair.

# Contents

Resum 3

Resumen 4

Abstract 5

Contingut 7

Glossari i Nomenclatura 9

Llistat de figures 10

Llistat de taules 11

1. Prefaci 13

2. Introducció 14

2.1. Motivació 14

2.2. Abast del treball 14

2.3. Requeriments previs 14

2.4. Objectius del treball 15

3. Part teòrica o introducció teòrica 16

3.1. Fonaments teòrics 16

3.2. Antecedents 16

3.3. Estat de la qüestió 16

3.4. Estat de la ciència i la tecnologia (estat de l’art) 16

4. Metodologia i equipament (o Experimental) 17

5. Resultats o Resultats i discussió 18

6. Planificació 22

7. Estudi econòmic 23

8. Estudi ambiental 24

9. Estudi social i d’igualtat de gènere 25

10. CONCLUSIONS 27

11. Agraïments 28

12. Bibliografia 29

Referències bibliogràfiques 29

Bibliografia complementària 31

# Abbreviations

TFM Treball fi de grau (Final Master Thesis in Catalan)

EEG Electroencephalogram

BCI Brain-Computer interface

MI Motor Imagery

LSL Lab streaming layer

SVM Support vector machine

KNN K-Nearest Neighbors

RMS Root Mean Square

PTP Peak-to-Peak Amplitude

LZ Lempel-Ziv Complexity

# Llistat de figures

Lista de figures / List of figures

*Recomanat.* Ordenades segons numeració. Pot ser interessant indicar la pàgina on està ubicada cada figura.

Notes. En aquest llistat no cal posar les fonts. Si el peu és molt llarg, resumir-ho.

La numeració de les figures i les taules pots ser contínua o per capítols.

Exemples

Figura 1. Esquema dels objectius de desenvolupament sostenible

Figura 2. Diagrama del cicle de l’aigua.………………………………………………pàg. 25

Figura 4.19. Perfil de la temperatura amb la posició del conducte HY7

Figura 4.20. Perfil logarítmic de la temperatura amb la posició del conducte HY7…pàg. 52

# Llistat de taules

Lista de tablas / List of tables

*Recomanat*. Ordenades segons numeració. Pot ser interessant indicar la pàgina on està ubicada cada taula. (vegeu llistat de figures)

Notes. En aquest llistat no cal posar la font. Si el títol de la taula és molt llarg es pot resumir

La numeració de les figures i les taules pots ser contínua o per capítols.

# Prefaci

*Prefacio / Preface*

*Capítol recomanat* Un prefaci pot considerar-se com una nota de presentació per definir l’estudi objecte de projecte, destacar-ne algun aspecte en particular, mostrar la seva relació amb treballs relacionats o traçar les circumstàncies històriques que han motivat el projecte, com pot ser un projecte de recerca, l’assistència a una conferència, un problema de classe, un llibre, la proposta d’una institució...

Es recomana que la primera pàgina del cos de la memòria comenci per un número imparell.

COM INSERIR CAPÍTOLS AL TEXT

Per convertir un text normal en capítol principal de nivell 1, cal prémer [Ctrl+Shift+1] o anar a Inicio 🡪 titulo 1.

Per convertir un text normal en apartat de nivell 2, cal prémer [Ctrl+Shift+2] o anar a Inicio 🡪 titulo 2.

Per convertir un text normal en apartat de nivell 3, cal prémer [Ctrl+Shift+3] o anar a Inicio 🡪 titulo 3.

# Introduction

## Motivation

Motivación/Motivation

*Obligatori en tots els TFE*. Consisteix en indicar quin és el problema que es vol resoldre en aquest treball. Típicament, alguns motius serien: el medi ambient, l’eficiència energètica, l’economia (macro o local), falta d’equilibris socials, aspectes mèdics o hospitalaris, algun dels objectius de desenvolupament sostenible, aspectes tècnics d’un equip o sistema que es pot millorar...

Motor Imagery (MI)-based Brain-Computer Interfaces (BCIs) have garnered significant attention for their applications in neurorehabilitation, assistive devices, and mobility solutions for individuals with motor impairments. Unlike traditional rehabilitation methods, MI-based BCIs harness the brain's neural activity during imagined movements, enabling direct interaction with robotic systems. The advent of dry EEG devices, such as the Bitbrain Hero Helmet, further enhances accessibility and usability by eliminating the need for time-intensive electrode preparation while maintaining high-quality signal acquisition.

This project is part of the POSMOFYA initiative, which aims to integrate hybrid platforms for mobility and functionality. By combining eye-tracking with MI-based BCIs, the initiative seeks to provide comprehensive solutions for controlling assistive technologies, such as wheelchairs and robotic arms, in domestic environments. The motivation is to address critical challenges in autonomy, user adaptability, and ease of operation, thereby improving the quality of life for individuals with severe motor disabilities.

## Scope

Alcance del Trabajo/Scope

*Recomanat*. Aquest apartat ha d’explicar els límits d’aplicació del treball a escala temporal, espacial, de l’entorn (físic, biològic i social), econòmic (si és el cas), tecnològic o de qualsevol altre àmbit. En altres paraules, ha d’indicar a què se circumscriu la solució del problema assenyalat a la motivació. Per exemple, si la motivació és millorar el medi atmosfèric “ja que està molt contaminat per NOx”, el treball es limitarà a dissenyar un catalitzador d’òxids de zirconi en base a la bibliografia existent. No es farà cap prototip ni s’analitzarà cap model d’abocament de contaminants.

The primary objectives of this project are:

1. **Signal Acquisition and Analysis**: To develop a protocol for acquiring and analyzing MI data using the Bitbrain Hero Helmet, focusing on two movement classes: right wrist flexion and left arm flexion.
2. **Machine Learning Integration**: To design and implement a machine learning pipeline capable of real-time classification of MI signals with high accuracy.
3. **Assistive System Integration**: To apply the developed MI-based control system to enhance the functionalities of the POSMOFYA wheelchair platform, including mode switching between driving, tilt adjustment, and robotic arm control.
4. **Improved Usability**: To demonstrate the efficacy of dry electrode EEG systems in simplifying BCI setups while ensuring robust performance in practical applications.

## Prerequisites

Requerimientos previos/prerequisites

*Recomanat*. Té com a missió establir les condicions tècniques, econòmiques, administratives, facultatives i legals perquè l’objecte del treball pugui materialitzar-se.

Several prerequisites were established to ensure the project’s feasibility and success:

* **Equipment Selection**: The Bitbrain Hero Helmet was chosen for its dry electrode technology, which simplifies setup while offering high-resolution EEG signal acquisition.
* **Software Tools**: PsychoPy for experiment design and LabStreaming Layer (LSL) for synchronized data collection and streaming.
* **Signal Processing Knowledge**: Familiarity with EEG preprocessing techniques, such as filtering and artifact removal, and feature extraction methods, such as Event-Related Desynchronization (ERD) and Event-Related Synchronization (ERS).
* **Machine Learning Expertise**: Proficiency in implementing classifiers for real-time signal decoding, focusing on algorithms suited for EEG data, including Support Vector Machines (SVMs) and neural networks.

## Objectives

Objetivos/Objectives

*Obligatori en tots els TFE*. Aquí cal indicar quins són els resultats que es volen assolir. A més cal justificar el perquè d’aquests objectius.

Han de figurar en un capítol o subcapítol clarament diferenciats i titulats.

Típicament, es pot definir un objectiu general, força relacionat amb el títol del treball i uns objectius particulars més relacionats amb les tasques que es duran a terme.

Per exemple:

L’objectiu general del treball serà el disseny d’un nou catalitzador basat en òxids de Zirconi, per disminuir la concentració de NOx a la sortida d’equips de combustió alimentats amb gasoil o combustible biodièsel. L’agent reductor podria ser amoníac o urea.

Els objectius particulars serien:

* Estudi bibliogràfic de quina de les diferents estructures cristal·lines dels òxids de Zirconi seria la mes adient, d’acord amb l’agent reductor.
* Selecció de la fase més adient, de l’agent reductor que l’acompanya i de les condicions de treball. Es procurarà que la temperatura no superi els 350 ºC i que les reaccions químiques es facin a pressions properes a les ambientals.
* Modelització de la reacció química de descontaminació en base a diferents models de reactors catalítics. Es farà èmfasi en els catalitzadors monolítics.
* Disseny del reactor amb catalitzadors monolítics. Balanç de masses, energies i fluxos. La concentració final d’òxids de nitrogen no hauria de superar els 0,01 ppmv.
* Avaluació de la refrigeració per aire per limitar les condicions d’operació a 350 ºC.
* Estimació del cost de catalitzador per incorporar-ho a una caldera i avaluació dels costos d’operació.

The primary objectives of this project are:

1. **Signal Acquisition and Analysis**: To develop a protocol for acquiring and analyzing MI data using the Bitbrain Hero Helmet, focusing on two movement classes: right wrist flexion and left arm flexion.
2. **Machine Learning Integration**: To design and implement a machine learning pipeline capable of real-time classification of MI signals with high accuracy.
3. **Assistive System Integration**: To apply the developed MI-based control system to enhance the functionalities of the POSMOFYA wheelchair platform, including mode switching between driving, tilt adjustment, and robotic arm control.
4. **Improved Usability**: To demonstrate the efficacy of dry electrode EEG systems in simplifying BCI setups while ensuring robust performance in practical applications.

# Theoretical Framework

## Overview of Motor Imagery-Based BCIs

Motor Imagery (MI) is a mental process where individuals simulate motor movements without physically executing them. This mental rehearsal triggers similar neural patterns to those of actual movements, which can be captured non-invasively using EEG. MI-based BCIs have demonstrated immense potential in enabling motor rehabilitation, enhancing neuroplasticity, and providing control mechanisms for robotic systems [1] [2]​​.

Key elements of MI-based BCIs include:

* **Event-Related Desynchronization (ERD) and Synchronization (ERS)**: These neural patterns, detectable through EEG, serve as biomarkers for motor intention and are crucial for feature extraction​​ [2] [3].
* **Machine Learning for Classification**: Modern approaches employ deep learning and traditional classifiers to decode MI signals. Deep learning methods, such as Convolutional Neural Networks (CNNs), have shown promising results in handling EEG's high-dimensional and noisy nature [3]​.

## Dry EEG Systems in BCIs

The transition from wet to dry EEG systems addresses several challenges in practical applications, such as setup complexity and user comfort. Studies have highlighted the feasibility and accuracy of dry systems like the Bitbrain Hero Helmet, demonstrating their capability in capturing MI-related signals​ [2]. These systems ensure portability and ease of use, making them suitable for real-world environments​ [4].

## Applications in Assistive Technologies

MI-based BCIs are increasingly used in assistive technologies, particularly for controlling robotic wheelchairs and arms. The integration of BCIs with mobility solutions has been extensively researched, with emphasis on real-time control, adaptability, and user acceptance [4][3]​​. For instance, EEG-based control systems have been deployed in navigating real-world environments and performing complex tasks like object manipulation using robotic arms [2][3]​​.

## Challenges in MI Signal Classification

Despite significant advancements, several challenges persist:

* **Noise and Artifacts**: EEG signals are highly susceptible to artifacts from muscle movements, eye blinks, and environmental factors​ [3].
* **Inter-subject Variability**: Differences in neural patterns across individuals necessitate robust and generalizable classifiers ​​[1][3].
* **Real-Time Processing**: Achieving low-latency and accurate signal decoding is critical for practical applications​ [2].

This project builds upon these theoretical foundations, leveraging advancements in EEG technology and machine learning to address these challenges and push the boundaries of MI-based BCI applications.

## Brain-Computer Interfaces

## Motor Imagery

## MI-based BCIs

# Materials and methods

(Metodología y equipos (o experimental)/Methodology and equipment (o experimental)

Un capítol *altament recomanat* explicant els procediments experimentals, els equips i la metodologia.

# Results

(Resultados o resultados y discusión/Results o Results and discussion)

És la part principal de la memòria amb la descripció i l’explicació dels resultats obtinguts.

Han de quedar recolzats per dades organitzades en forma de taules, figures, equacions o d’altres objectes d’edició.

Incloeu una discussió crítica dels resultats: Per què aquests són els millors? Per què aquests no funcionen?

Un bon treball d’enginyeria ha de contenir alternatives per comparar-les amb els resultats obtinguts.

Useu colors i a les figures una mida de lletra prou gran per ser llegida amb claredat sense necessitat d’ampliar la pàgina.

Si el treball és un projecte d’enginyeria, ha d’incloure un pressupost del projecte. Els resultats econòmics poden reconduir el resultat final.

Si el treball és un projecte d’enginyeria, ha d’incloure un estudi d’impacte ambiental (UNE 157921). Els resultats ambientals poden fer repensar el resultat final.

Afegiu, si és el cas, plànols segons el caixetí de l’ETSEIB.

Si el nivell de dades, figures, taules, etc., és molt gran, reinstal·leu-los als annexos i seleccioneu les més significatives.

ALGUNS ASPECTES SOBRE LA FORMA

Numeració de figures i equacions.

* En les figures hi va un peu de figura, numerades correlativament o per capítols.
* En les taules hi va un títol de la taula, numerades correlativament o per capítols.
* En les equacions no hi va cap títol ni peu (si de cas s’explica al text), la numeració es posa a la dreta i pot ser correlativa o per capítols.

Una opció quan s’han d’incloure noves figures o equacions, és copiar l’exemple anterior i substituir el contingut, la numeració s’actualitzarà automàticament amb posterioritat.

Les figures i les taules s’han de citar al text principal.

Exemple de figura i del peu de figura.

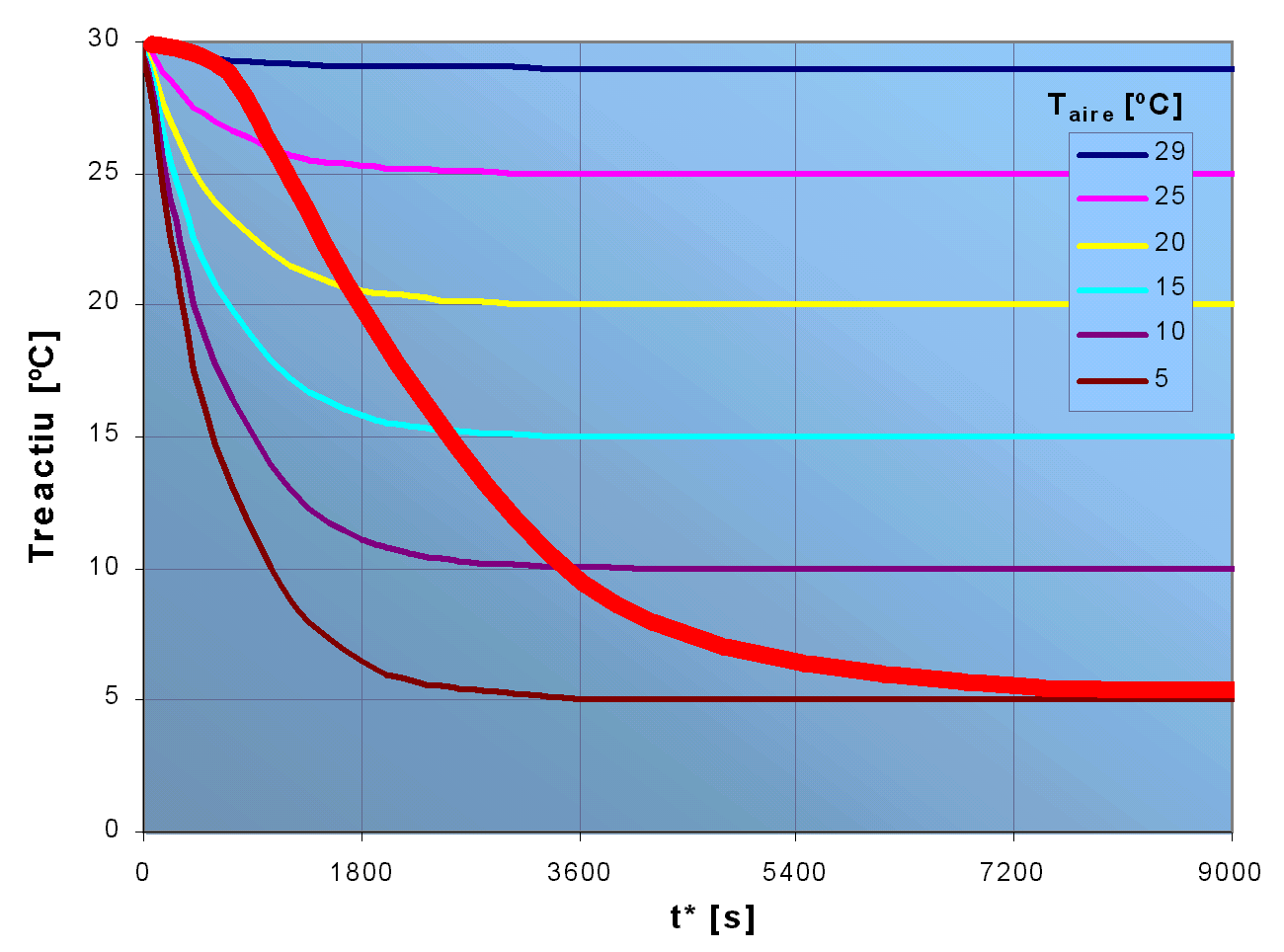


Fig. 4.1. Estimació de la corba real de temperatures del conjunt

Exemple d’equació

 (Eq. 4.1)

Exemple de taula i del títol de taula:

Taula 3.8. Principals models de catalitzadors en fase sòlida. Fonts: referències [2] i [7].

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Catalitzador** | **Règim de contacte** | **velocitat gas** | **sortida de sòlids** |
| **Monolític** | Catalitzador fix | Baixes a altes | No |
| **Llit fix** | Catalitzador fix | Baixes | No |
| **Llit fluïditzat turbulent** | Catalitzador en suspensió i parcialment arrossegat | Mitjanes | Si (poc) |
| **Llit fluïditzat ràpid** | Catalitzador en suspensió | Mitjanes | Si |
| **Transport pneumàtic** | Catalitzador arrossegat | Altes | Si (total) |

Cal respectar i esmentar l’origen i autor de totes les figures utilitzades mitjançant les referències bibliogràfiques (🡨 IMPORTANT!).

Per convertir un text normal en capítol principal de nivell 1, cal prémer la combinació [Ctrl+Shift+1] o anar a Inicio 🡪 titulo 1.

Per convertir un text normal en capítol principal de nivell 2, cal prémer la combinació [Ctrl+Shift+2] o anar a Inicio 🡪 titulo 2.

Per convertir un text normal en capítol principal de nivell 3, cal prémer la combinació [Ctrl+Shift+3] o anar a Inicio 🡪 titulo 3.

Si es vol fer una referència a una equació o figura existent dins el document i que s’actualitzi automàticament si aquesta canvia de posició o numeració, cal fer servir una “*referencia cruzada* ” que trobareu al menú “*Insertar*” submenú “*referencia*”, i seleccionar el tipus desitjat (Ec., Fig., Taula, marcador, nota al peu, etc.) amb referència a “*sólo rótulo y número*”. Si es creu convenient, també es pot referenciar el “*número de pàgina*”.

Per exemple: ... segons es dedueix de l’Ec. 4 .1 de la pàgina 19...

... com s’observa a la Fig. 4 .1...

Si es vol fer una cita a alguna referència bibliogràfica del capítol bibliografia, i que aquesta es modifiqui automàticament si posteriorment afegim més referències, també cal fer servir una “*referencia cruzada* ” i el tipus ha de ser “*elemento de numeración*” amb referència al “*número de párrafo*” (cal tenir numerats els paràgrafs de les referències bibliogràfiques).

Per exemple: ... característic dels sistemes de climatització [1], ...

D’aquesta forma faríem referència a la següent obra que surt al començament del capítol de bibliografia:

[1] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air‑Conditioning Engineers, *Fundamentals Volume (S.I. edition.)*. Atlanta: 2001, p. 104-121

# Planificació

(Planificación/Planning)

*Obligatori pels TFG i TFM MUEI. Altrament recomanat pels altres màsters*. És un diagrama de Gantt. El/La director/a o ponent ha de tenir aquesta planificació més o menys a mitjan del quadrimestre (per tenir-la en compte en l’avaluació parcial dels TFG).

Podeu usar models Excel com els que estan a:

<https://templates.office.com/es-es/diagrama-de-gantt-simple-tm16400962>

Podeu trobar models de LIbreoffice en aquesta pàgina web:

<https://extensions.libreoffice.org/?q=gantt>

# Estudi econòmic

(Estudio económico/Economic assessment)

*Obligatori pels TFG i TFM MUEI. Altament recomanat pels altres màsters* . És una avaluació del cost del treball fet per l’estudiant. Les unitats monetàries han de ser, com a mínim, l’euro. Ha de contenir:

* Les hores emprades per la realització del treball (les corresponents als crèdits del TFE). Millor si estan separades per les tasques executades segons la planificació. En una primera aproximació podeu considerar que una de les vostres hores es paga a 15 €/h.
* Les despeses operatives: electricitat, calefacció, aigua o telefonia. Sumeu la part proporcional dels termes fixos. També tingueu en compte els viatges, les despeses d’oficina i d’altres.
* Les despeses experimentals: materials, aigua, electricitat, combustibles, llicències, llibres.
* Si és el cas, amortització dels equips. Considereu que un PC s’amortitza linealment en 5 anys i un telèfon mòbil en 3 anys.
* Serveis abonats per obtenir algunes dades (per exemple d’un servei de microscòpia electrònica, encara que no ho hagi pagat l’estudiant).
* I totes aquelles que haurien de constar si el treball fos realista i s’hagués de facturar.

I totes aquelles que haurien de constar si el treball fos realista i s’hagués de facturar.

Incloeu els impostos i taxes en un text a part. Per exemple: “El total del cost del treball puja a 13456,9 euro, que si li sumem l’IVA corresponent (21 %) seria de 16292,85 euro”.

Critiqueu el resultat (és molt, és poc,...) d’acord amb els resultats obtinguts en el treball.

Podeu trobar dades, per exemple, aquí:

<https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/ayuda/manuales-videos-folletos/manuales-practicos/folleto-actividades-economicas/3-impuesto-sobre-renta-personas-fisicas/3_5-estimacion-directa-simplificada/3_5_4-tabla-amortizacion-simplificada.html>

Nota. Aquest apartat no eximeix d’incloure en els capítols de resultats un pressupost o un escandall, si el treball consisteix en un projecte d’enginyeria.

# Estudi ambiental

(Estudio ambiental / Environmental assessment)

*Obligatori en TFG i TFM MUEI. Altament recomanat en altres màsters*. Avaluació de l’impacte de realitzar el treball. Seleccioneu un o diversos indicadors:

* kg de gasos d’efecte hivernacle (kg CO2e), a causa de la despesa energètica elèctrica, combustibles fòssils o no fòssils, canvis en l’ús de sòls...
* kg de residus assimilables a RSU generats
* kg de residus tòxics i perillosos abocats
* Energia total (kW·h o MJ)
* Despesa d’aigua
* kg de contaminants atmosfèrics abocats
* Qualsevol altre que sigui significatiu

Critiqueu els resultats. Per tenir un idea, un arbre absorbeix entre 20 i 30 kg de CO2 mentre creix (quants arbres hauríem de plantar?). Es podria reduir l’impacte del treball?

Podeu trobar dades en aquestes pàgines web:

<https://canviclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/index.html>

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/inscripcion-registro.aspx> 🡪 Factores de emisión

<https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>

<https://www.comunidadism.es/la-huella-hidrica-de-la-vida-diaria-de-una-persona/> (font de fiabilitat limitada, no te referències)

<https://www.waterfootprint.org/en/> Entre altres

Nota. Aquest apartat no eximeix d’incloure en els capítols de resultats un estudi d’impacte ambiental, si el treball consisteix en un projecte d’enginyeria.

# Estudi social i d’igualtat de gènere

(Estudio social i de igualdad de género/ Social and gender equality assessment)

*Obligatori en TFG i TFM MUEI, altament recomanat en altres màsters.*

Ha de ser un breu capítol crític sobre si el treball està condicionat o pot condicionar diferenciacions discriminatòries de gènere o d’estatus social.

Us proposem algunes idees que us poden servir per redactar-ho. Entre d’altres, podeu contestar algunes les següents qüestions:

1. Expliqueu si l’accés a la tecnologia treballada discrimina a:

* Homes o dones formades en l’àmbit
* Homes o dones no formades en l’àmbit
* Persones amb identitats de gènere diferents de les clàssiques
* Col·lectius vulnerables (immigrants, persones sense recursos, gent amb disminució sensorial o física, societats necessitades...)

1. Expliqueu si l’equip sobre el qual s’ha realitzat el treball (director/a, ponent, estudiant/a, externs...) està equilibrat per gènere. Critiqueu el resultat.
2. S’han tingut en compte els resultats i els impactes de la recerca que puguin ser diferents en homes i dones (impactes directes i indirectes)? S’ha analitzat la idoneïtat de reajustar la proposta per equilibrar aquests impactes?
3. S’han usat unes imatges i un ús del llenguatge inclusiu, no sexista ni androcèntric?
4. S’han afavorit o s’han enaltit les polítiques o les idees diferenciadores entre determinats col·lectius per raons de raça, cultura, nivell econòmic…? (per exemple, si es considera normal i convenient que el president del consell d’administració de l’empresa cobri 100 vegades més que un o una treballadora?).
5. El treball té en compte si organitzacions socials poden participar en el desenvolupament del projecte?
6. Existeixen mecanismes per monitoritzar mitjançant indicadors els aspectes relatius al gènere i avaluar-los?
7. S’ha tingut en compte l’aspecte de gènere en l’autoria de les publicacions del projecte? (Indicant, per exemple, el nom de pila complet de cada persona).
8. Expliqueu si els resultats del treball afavoreixen a col·lectius vulnerables.
9. Indiqueu quins dels objectius de desenvolupament sostenible (ODS) s’ajusta als resultats del vostre treball.



Per tal d’entendre millor com la perspectiva de gènere afecta a totes les fases d’un projecte, es recomana llegir la documentació que hi ha en aquest document UPC:

<https://igualtat.upc.edu/ca/recursos/recerca/igualtat-de-genere-i-genere-en-el-contingut-de-la-recerca-llista-de-comprovacio.pdf>

# CONCLUSIONS

(Conclusiones/Conclusions)

*Obligatori en tots els treballs.*

Han de respondre als objectius plantejats al començament del treball i a d’altres que es puguin deduir de l’estudi crític dels resultats.

Poden contenir una conclusió general i unes conclusions particulars. Ocasionalment, l’estudi econòmic, ambiental i social no s’inclouen en les conclusions, a no ser que s’hagi trobat un resultat important.

En el capítol de les conclusions es poden incloure recomanacions d’activitats a dur a terme o tasques de continuïtat del tema estudiat (propostes de futur).

Les conclusions han de ser un reflex clar i ordenat de les deduccions fetes a conseqüència del treball descrit al llarg del nucli del document. S’hi poden incloure dades quantitatives, però no s’haurien de donar detalls de cap argument o resultat.

Les recomanacions són manifestacions concises d’alguna acció futura que sembli necessària, com a resultat directe de les conclusions o d’alguna experiència feta en el curs del treball objecte del projecte. No són necessàries, tret que estiguin completament justificades pel treball descrit.

# Agraïments

(Agradecimientos/Acknowledgments)

Capítol opcional, que reflecteix agraïments relatius a ajuts en la realització del treball i en la preparació del document. No és habitual agrair les contribucions com ara un control de rutina, un petit ajut o unes recomanacions de tipus general.

Si és el cas, si el treball ha estat subvencionat per institucions públiques o privades, és convenient incloure-les en els agraïments. En el cas de subvencions públiques és obligatori indicar el codi de l’ajut.

# Bibliography

## References

És molt important citar tots aquells paràgrafs que s’han obtingut de fonts externes. Les entrades han de donar-se segons la norma ISO 690: 2010. A l'assignatura "Ús solvent dels recursos d'informació" <http://atenea.upc.edu/moodle/course/view.php?id=26228> hi ha la informació necessària per elaborar una bibliografia correctament.

També s’han de citar les figures i les taules si s’han aconseguit de recursos externs, amb la mateixa norma indicada.

Imatges, figures, taules o textos que no siguin propis del treball, i que no s’hagin citat, poden ser considerats plagi i poden tenir conseqüències legals. 🡨 IMPORTANT

Únicament han de figurar en aquest apartat aquelles referències bibliogràfiques que hagin estat citades al llarg del TFG/TFM, la resta es posarà a l’apartat d’altres referències bibliogràfiques. És una pràctica recomanable anar confeccionant la bibliografia alhora que es va elaborant la documentació del TFG/TFM, i es van realitzant cites a aquestes referències.

Les entrades o els elements de la llista de referències han de donar-se segons l’esquema general: Autor/*Títol*/Dades de la publicació (respectar la cursiva al títol). Per facilitar les cites al llarg del text una possibilitat és numerar els paràgrafs, tal com es fa als exemples que s’indiquen més endavant..

Sobre les cites d’internet

És molt poc convenient citar pàgines web, a causa de la seva volatilitat informativa ja que desapareixen sovint i són fonts poc fiables, excepte les oficials. Per poc que sigui possible citeu documents que no es perdin (com els que contenen ISBN, DOI’s...). Els membres dels tribunals saben d’aquesta situació i valoren negativament les cites volàtils d’internet.

Observeu els exemples que hi ha més avall [6] i [7] de com es referencia un document d’internet.

Exemples de llibres, articles, catàlegs, material informàtic i material obtingut a la xarxa:

1. **Sharma, R., Kim, M., & Gupta, A.** (2022). *Motor imagery classification in brain-machine interface with machine learning algorithms: Classical approach to multi-layer perceptron model.* Biomedical Signal Processing and Control, 71, 103101. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103101&#8203;:contentReference[oaicite:0]{index=0}>.
2. **Ceradini, M., Lassi, M., Losanno, E., et al.** (2023). *Feasibility and Accuracy of a Dry and Wireless EEG Helmet for Upper Limb Motor Imagery-Based Brain-Computer Interfaces.* IEEE International Conference on Metrology for eXtended Reality, Artificial Intelligence, and Neural Engineering (MetroXRAINE). <https://doi.org/10.1109/METROXRAINE58569.2023.1040554&#8203;:contentReference[oaicite:2]{index=2}>.
3. **Altaheri, H., Muhammad, G., Alsulaiman, M., et al.** (2023). *Deep learning techniques for classification of electroencephalogram (EEG) motor imagery (MI) signals: A review.* Neural Computing and Applications, 35, 14681–14722. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06352-5&#8203;:contentReference[oaicite:3]{index=3}>.
4. **Palumbo, A., Gramigna, V., Calabrese, B., & Ielpo, N.** (2021). *Motor-Imagery EEG-Based BCIs in Wheelchair Movement and Control: A Systematic Literature Review.* Sensors, 21(18), 6285. <https://doi.org/10.3390/s21186285&#8203;:contentReference[oaicite:1]{index=1}>.

(Bibliografía complementaria/Additional bibliography)

Aquest apartat, si escau, s’ha de presentar de la mateixa forma que la llista de referències anterior, però amb la diferència que en ell poden figurar referències bibliogràfiques consultades o relatives a la temàtica objecte del TFG/TFM, i que no hagin estat citats al llarg del mateix. Exemples habituals de bibliografia complementària són els apunts d’una assignatura o un llibre de text d’una temàtica general.